

сельскохозяйственных растений еще недостаточно. Важно, чтобы данный результат имел необходимое качество и удовлетворял существующий потребительский спрос.

Документом, удостоверяющим качество товаров, в том числе и продукции АПК, является сертификат. Сертификация продукции АПК используется во всем мире как действенное средство защиты прав интересов потребителей, а также как весьма важный фактор обеспечения доверия к изготовителю (поставщику) и повышения конкурентоспособности продукции. Нормативной базой по сертификации продукции являются Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 года № 3849-ХП «О сертификации продукции работ и услуг», а также Постановление Совета Министров Республики Беларусь «О введении обязательной сертификации товаров народного потребления работ и услуг» от 8.01.2003 г. № 10 (рег. № 5/11777 от 13.01.2003 г.), который обязывает иметь на мясные изделия разработку нормативных документов (ГОСТ, ТУ) на конкретный вид продукции, на готовые пищевые продукты (ГОСТ, РДУ-99), на продукты детского питания (ГОСТ), на другие виды продукции (ГОСТ, ТУ) [7].

Совершенствование действующего порядка и правил сертификации является основой повышения ее эффективности, действенной защитой прав потребителей, повышения качества продукции.

### ВЫВОДЫ

В сельском хозяйстве экологизация должна проводиться на фоне постоянного повышения плодородия почв, оптимизации отраслей земледелия и животноводства, применения высокоинтенсивных технологий производства.

Внедрение широкозахватных машин, с учетом их многофункциональности, является экономически целесообразным, соответствует экологически чистым технологиям и отвечает требованиям ведения сельскохозяйственного производства в рыночных условиях.

Ежегодное перезалужение 33% улучшенных сенокосов и пастбищ в условиях Бельничского района позволит увеличить их продуктивность в 4 раза, обеспечить нормативное кормление животных, снизить себестоимость и повысить прибыльность производства продукции животноводства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков В.Г. Строить, чтобы не перестраивать, или Каким быть сельскому хозяйству Беларуси / Белорусская нива. - 2004. 12, 16, 17 ноября.
2. Сельское хозяйство и пищевая промышленность в Польше в аспекте интеграции с Евросоюзом (Министерство сельского хозяйства и развития села) / Варшава – 2002. – С. 74.
3. Штомпель Б.Н. Экономическая экология. – Мн.: БГАТУ, 2001. – С. 349.
4. Павлов С.Е. Экология: будет ли страшный суд. – Мн.: «Ураджай», 1999. – С. 319.
5. Яркоков Н. «Гомсельмаш» - родной и рядом / Белорусская нива. – 2004. 14 апреля.
6. Бойко Л.В. Основы экологии и экономика природопользования. – Могилев, 2005. – С. 48.
7. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Выпуск 19. Мн. – 1997. – С.40.

УДК 621.7

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ПОЧВОРЕЖУЩИХ ПРОФИЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗНАШИВАНИЯ

**А.В. Кривцов, ассистент (УО БГАТУ)**

Рабочие органы почвообрабатывающих машин в процессе эксплуатации затупляются. На режущей кромке образуется площадка износа со стороны задней поверхности (затылочная фаска), наклоненная под определенным углом (в зависимости от типа почвы) к дну борозды. Это приводит к снижению производительности труда (увеличивается тяговое сопротивление движению агрегатов) и снижению качества выполнения технологических операций (уменьшается глубина и равномерность обработки почвы, качество срезания и заделки сорняков).

Эффективным направлением получения почворежущих деталей (ПРД), в которых реализуется «выгодное» формообразование (т.н. самозатачивание) почворежущего профиля (ПРП) в процессе изнашивания является созда-

ние биметаллической конструкции [1, 2].

Первоначально идея метода конструирования самозатачивающихся профилей была изложена в патенте [3] советским изобретателем А.Н. Игнатьевым в 1926 году. Он предложил конструкцию самозатачивающегося лезвия, которое было выполнено из слоев с различной твердостью.

В последующем принципы проектирования самозатачивающегося почворежущего лезвия неоднократно уточнялись и совершенствовались. Особую практическую значимость представляет техническое решение, заключающееся в том, что ПРП имеет различные свойства по глубине. При этом вязкий «несущий» слой сердцевина ПРП обеспечивает прочность, значительно усту-

пая по износостойкости более тонкому «режущему» наружному слою. В процессе избирательного изнашивания ПРП, обладающего неоднородными свойствами по сечению, создаются предпосылки выгодному его формированию и адаптации формы к условиям эксплуатации. При взаимодействии с почвой, на основании правила аддиативности, более твердый слой изнашивается менее интенсивно и, следовательно, выступая вперед, образует режущую кромку лезвия.

Установлено [4, 5], что при длительной работе почворежущих деталей (ПРД) форма профиля лезвия, независимо от первоначальной, стабилизируется и в дальнейшем остается практически неизменной.

А.Ш. Рабиновичем проведены исследования процесса изнашивания на примере одно- и двухслойного лезвий. Им выявлены закономерности изнашивания биметаллического лезвия с расположением износостойкого слоя с тыльной стороны. Установлено, что устойчивый эффект самозатачивания наблюдается при определенных сочетаниях износостойкостей слоев лезвия. Теоретический анализ изнашивания двухслойного лезвия определен той закономерностью, что профиль лезвия должен зависеть, главным образом, от отношения толщин слоев. Им было предположено, что отношение коэффициентов износостойкости материалов сказывается на форме лезвия в такой же мере, как отношение толщины слоев. Рекомендовано оценивать форму ПРП безразмерным параметром [4], являющимся критерием подобия для процесса изнашивания двухслойного лезвия, численное значение которого определяется соотношением

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 * h_2}{\varepsilon_1 * h_1}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  – износостойкость соответственно несущего и упрочненного слоев;

$h_1$ ,  $h_2$  – толщина соответственно несущего и упрочненного слоев.

Практическое применение уравнения (1) не всегда получает подтверждение при испытании реальных почворежущих деталей. Оно не в полной мере учитывает определяющие характер и интенсивность изнашивания факторы: абразивную способность почвы, характер формы эпюры давления почвы (далее – давления) на ПРП.

В публикуемой статье излагается метод прогнозирования характера формообразования в процессе изнашивания ПРП, состоящих из 2-х слоев с различной износостойкостью, впервые апробированных в полевых условиях на деталях, изготовленных по разработанным технологиям [1, 2].

При разработке теоретической зависимости формообразования использованы известные положения работ по прогнозированию ресурса почворежущих деталей и степени влияния комплекса факторов на интенсивность изнашивания ПРП [6, 7, 8, 9].

На рис. 1 представлена схема для расчета почворежущего профиля с расположением износостойкого (упрочнен-

ного) слоя со стороны воздействия движущегося почвенного пласта. Такой вариант наиболее соответствует почвенным условиям Республики Беларусь (песчаные и супесчаные почвы).

Эпюры на рис. 1 соответствуют предполагаемым (теоретическим) износам  $U_1$  и  $U_2$  – тем, которые могли быть при отсутствии линейного износа и при изнашивании ПРП по толщине (теоретический износ). В реальных условиях (фактический износ) происходит изнашивание лезвия с линейным износом  $U_{\text{лин}1}$  (в расчетах величину линейного износа принимаем равной высоте трапеции  $l_1$ ).

Определим  $U_{\text{лин}1}$ , исходя из условия равенства суммарных (по площади) теоретических и фактических износов на основании общеизвестной закономерности – пропорциональности объема (как вариант площади сечения) изнашиваемого материала давлению [12].

Теоретическое значение площади износа определяется из площади трапеции (рис. 1):

$$S_n^T = 0,5 * l_n * (U_n^{\max} + U_n), \quad (2)$$

где  $U_n^{\max}$  – максимальный (теоретический) износ в начале участка рассматриваемой грани  $n$ , мм;

$U_n$  – износ (теоретический), соответствующий давлению, действующему на расстоянии  $l_n$  от начала участка рассматриваемой грани  $n$ , мм;

$l_n$  – высота трапеции на соответствующей грани  $n$ , мм;

$n$  – обозначение рассматриваемой грани (1 – лицевая, 2 – тыльная).

Максимальный износ в направлении действия давления (мм) со стороны грани  $n$  находим по формуле:

$$U_n^{\max} = C_n * p_n^{\max} * \tau, \quad (3)$$

где  $C_n$  – переходный коэффициент соответствующего слоя (зависит от характеристик материала, свойства почвы и др., см. формулу (19))  $\frac{\text{мм}}{\text{МПа} * \text{с}}$ ;

$p_n^{\max}$  – максимальное давление в крайней точке эпюры на соответствующей грани  $n$ , МПа;

$\tau$  – наработка на один рабочий орган.

В соответствии с треугольной эпюрой распределения давлений закон изнашивания имеет вид:

$$U_n = C_n * \tau * (p_n^{\max} - K^n * p_n * l_n), \quad (4)$$

$K^n$  – коэффициент (наклона эпюры давлений), характеризующий изменение давления на рассматриваемой грани в зависимости от  $l_n$ ,  $\frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$ .

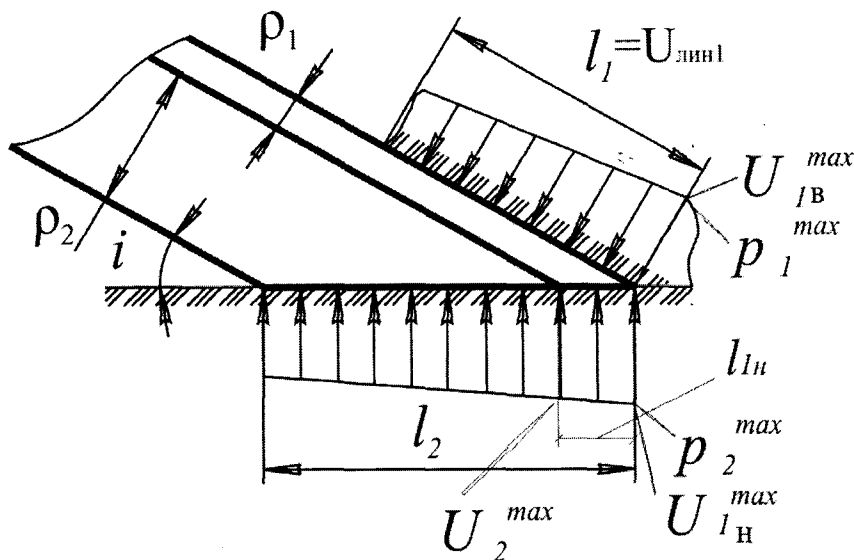


Рис. 1. Расчетная схема почворезущего профиля

Выгодное формообразование упрочненного лезвия возможно, если интенсивность изнашивания верхней упрочненной грани равна или меньше интенсивности изнашивания нижней «несущей». В этом случае (при условии, что толщина упрочненного слоя не больше удвоенного максимально допустимого радиуса закругления режущей кромки лезвия) упрочненный слой, выступая вперед, образует режущую кромку. Грань несущего слоя, изнашивающегося интенсивнее по длине, параллельна дну борозды, т.е. не образует «затылочной» фаски. Такой характер изнашивания ПРП является оптимальным с точки зрения агротехнологических (качество подрезания сорняков, равномерность хода по глубине) и энергетических (тяговое сопротивление) требований. Значит, процесс изнашивания почворезущего профиля с расположением упрочненного слоя на лицевой стороне должен соответствовать условию

$$U_{\text{лин}1} \leq U_{\text{лин}2}, \quad (5)$$

или

$$\frac{U_{\text{лин}2}}{U_{\text{лин}1}} \geq 1, \quad (6)$$

где  $U_{\text{лин}1}$  – линейный износ упрочненного слоя, находящегося с лицевой стороны, мм;

$U_{\text{лин}2}$  – линейный износ несущего (нижнего) слоя, мм.

За характеристику процесса формообразования придем коэффициент ( $K = \frac{U_{\text{лин}2}}{U_{\text{лин}1}}$ ).

Площадь износа упрочненного слоя будет определяться по формуле:

$$S_{1T} = S_{1T}^B + S_{1T}^H, \quad (7)$$

где  $S_{1T}^H$  – теоретическая площадь износа упрочненного слоя с лицевой стороны, мм<sup>2</sup>;

$S_{1T}^B$  – теоретическая площадь износа упрочненного слоя с нижней стороны, мм<sup>2</sup>.

Линейный износ упрочненного слоя, в свою очередь, складывается из износа под воздействием давлений со стороны лицевой и тыльной граней.

Определим износ упрочненной грани с лицевой стороны. Для этого запишем величину теоретического износа на лицевой грани упрочненного слоя:

$$U_{1B}^{\text{max}} = C_{1B} * p_1^{\text{max}} * \tau, \quad (8)$$

где  $U_{1B}^{\text{max}}$  – максимальный износ в направлении действия давления (мм) с верхнего слоя с лицевой стороны, мм;

$C_{1B}$  – переходный коэффициент верхнего слоя с лицевой стороны (взаимодействующего с движущимся пластом почвы).

Теоретический износ на лицевой грани упрочненного слоя на расстоянии  $l_1$  (принимая  $l_1 = U_{\text{лин}1}$ , рис. 1):

$$U_{1B} = C_{1B} * \tau * (p_1^{\text{max}} - U_{\text{лин}1} * K * p_1). \quad (9)$$

Теоретическая площадь износа лицевой грани в направлении действия давления  $p_1^{\text{max}}$  в соответствии с формулами (2) из (8) и (9):

$$S_{1T}^B = 0,5 * U_{\text{лин}1} * C_{1B} * \tau * (2 * p_1^{\text{max}} - U_{\text{лин}1} * K * p_1). \quad (10)$$

Определим износ лицевой грани в направлении действия давления  $p_1^{\text{max}}$ . Для этого запишем величину теоретического износа упрочненной грани с нижней стороны.

$$U_{1H}^{\text{max}} = C_{1H} * p_2^{\text{max}} * \tau, \quad (11)$$

где  $U_{1H}^{\text{max}}$  – максимальный износ верхнего слоя с тыльной стороны в направлении действия давления, мм;

$C_{1H}$  – переходный коэффициент верхнего слоя с тыльной стороны (со стороны дна борозды).

Теоретический износ верхнего слоя с тыльной стороны в конце участка  $l_{1H}$

$$U_{1H} = C_{1H} * \tau * (p_2^{\max} - \frac{\rho_1 * K^{p_2}}{\sin i}), \quad (12)$$

где  $\rho_1$  – толщина упрочненного слоя, мм;

$i$  – угол резания почворезающего профиля (рис. 1).

Теоретическая площадь износа верхней грани в направ-

лении действия давления  $p_2^{\max}$  определяется из уравнений (11) и (12):

$$S_{1T}^H = \frac{0,5 * \rho_1 * C_{1H} * \tau}{\sin i} * (2 * p_2^{\max} - \frac{\rho_1 * K^{p_2}}{\sin i}). \quad (13)$$

Реальная (фактическая) площадь износа верхней грани

$$S_1 = \rho_1 * U_{\text{лин } 1}, \quad (14)$$

$U_{\text{лин } 1}$  определим из условия теоретических и фактических износов  $S_{1P} = S_{1T}$  и, подставив значения из (10), (13) и (14), получим квадратное уравнение

$$(U_{\text{лин } 1})^2 * (0,5 * C_{1B} * \tau * K^{p_1}) - U_{\text{лин } 1} * (C_{1B} * p_1^{\max} - \rho_1) - \frac{\rho_1 * C_{1H} * \tau * p_2^{\max}}{\sin i} + \frac{0,5 * \rho_1 * C_{1H} * \tau * \rho_1 * K^{p_2}}{\sin^2 i} = 0, \quad (15)$$

вида  $A * (U_{\text{лин}}^B)^2 - B * U_{\text{лин}}^B - C = 0$ , откуда

$$U_{\text{лин}}^B = \frac{-B - (B^2 - 4 * A * C)^{\frac{1}{2}}}{2 * A}. \quad (16)$$

Таким образом, выполнив аналогичный расчет для нижней грани и с учетом выражений (6), (15) и (16), условие «выгодного» формообразования будет иметь вид

Значения  $p_1^{\max}, p_2^{\max}, K^{p_1}, K^{p_2}, C_{1H}, C_{1B}$ ,

$$\frac{C_2 * \left( p_2^{\max} - \frac{\rho_2 * K^{p_2} + K^{p_2} * \rho_2}{\sin i} \right)}{(C_{1B} * p_1^{\max} - \rho_1) * \sin i} + \frac{C_{1B} * K^{p_1} * C_2 * \left( p_2^{\max} - \frac{\rho_1 * K^{p_2} + K^{p_2} * \rho_2}{\sin i} \right)}{\sqrt{\left( (C_{1B} * p_1^{\max} - \rho_1)^2 + 4 * (0,5 * C_{1B} * \tau * K^{p_1}) * \frac{\rho_1 * C_{1H} * p_2^{\max}}{\sin i} + \frac{0,5 * C_{1H} * \rho_1^2 * K^{p_2}}{\sin^2 i} \right) * \sin i}} \geq 1, \quad (17)$$

$C_2$  находятся с учетом результатов исследований или по эмпирическим зависимостям [6, 9, 10, 13].

Коэффициенты  $C_{1H}, C_{1B}, C_2$  характеризуют изнашивающую способность материала граней рабочих органов в определенных почвенных условиях. На

их величину наиболее существенно влияет изнашивающая почвы  $\lambda$  (мм/га) – износ по толщине элементарной площадки, вырезанной из лезвийной части рабочего органа (сталь 45, HRC<sub>2</sub> 40), эксплуатируемого при эталонном давлении  $p_2 = 0,1$  МПа и пути трения 25 км:

$$\lambda = (X^2 + 0,08 * Y + 1,5 * Z) * T^{\frac{1}{4}}, \quad (18)$$

где  $X, Y, Z$  – процентное содержание в почве (по весу) соответственно песка, глины и мелких каменных включений (гравия, гальки и пр.) в долях единицы:  $X + Y + Z = 1$  (100 %).

Коэффициент  $C$  имеет ту же физическую природу что и  $\lambda$ , только с учетом износостойкости конкретного материала:

$$C = \frac{\lambda}{K_{\text{изн}} * K_{\tau}}, \quad (19)$$

где  $K_{\text{изн}}$  – коэффициент относительной износостойкости материала;

$K_{\tau}$  – коэффициент приведения, соответствующий наработке в 1 га.

Для определения оптимальных, с точки зрения формообразования в процессе изнашивания, параметров ПРП воспользуемся выражением (17) и построим зависимость влияния соотношения износостойкостей несущего и упрочненного слоев на коэффициент формообразования  $K$  при постоянной толщине ПРП (рис. 2). При построении зависимости были приняты следующие исходные данные: толщина ПРП  $S = 12$  мм (толщина упрочненного слоя – 2 мм),

$p_1^{\max} = 0,02$  МПа,  $p_2^{\max} = 0,5$  МПа,  $K_{1,2}^p = 0,002 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$ ,  $i = 30^\circ$ ,  $X = 0,83$ ,  $Y = 0,13$ ,  $Z = 0,04$ ,  $T = 1$  МПа.

По данным зависимости на рис. 2, для заданных параметров детали и условий эксплуатации выгодное формообразование ПРП возможно при соотношении износостойкостей упрочненного и несущего слоев не менее 1,7. Возможно построение аналогичных зависимостей

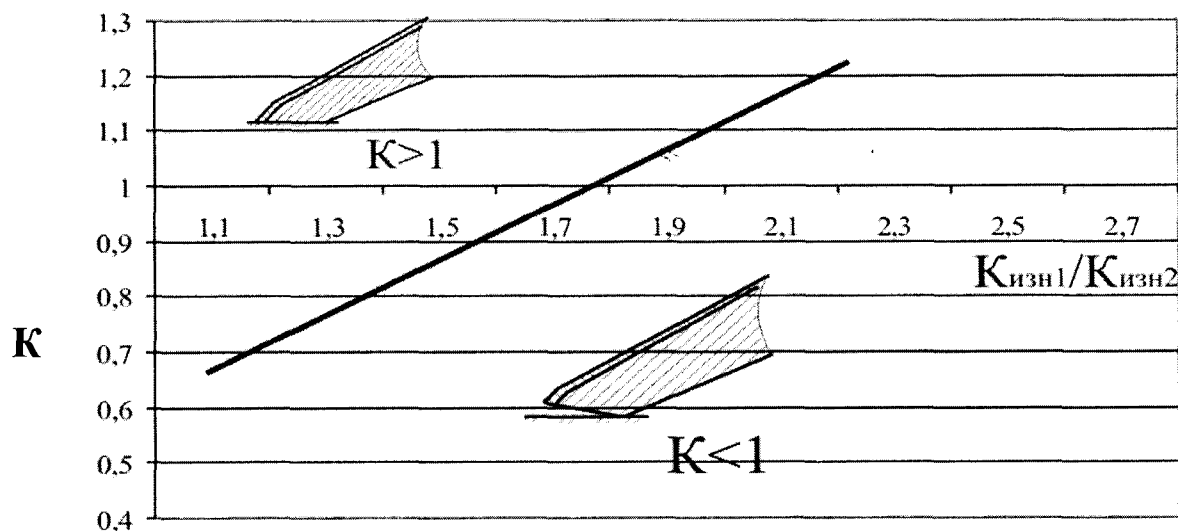


Рис. 2. Зависимость влияния соотношения износостойкостей несущего и упрочненного слоев на коэффициент формообразования  $K$

коэффициента формообразования и от других параметров: толщины упрочненного слоя, угла установки детали к дну борозды, типа почвы и др.

### Выводы

1. Предложен метод прогнозирования характера формообразования ПРП в процессе изнашивания. Отличительной особенностью является учет при расчете практически всех факторов, влияющих на интенсивность изнашивания рабочих органов почвообрабатывающих машин.

2. На основании уравнения прогнозирования характера формообразования ПРП возможно получение графических зависимостей влияния параметров детали и почвенных условий на характер формообразования ПРП в процессе изнашивания, что представляет ценность при проектировании широкой номенклатуры самозатачивающихся почворезущих деталей для различных условий эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на изобретение. № 2233570. РФ. Рабочий орган почвообрабатывающих машин (варианты). – М.: ФИПС, 2004. – 24 с.
2. Патент на полезную модель. № 1590. РБ. Изделие с самозатачивающимся биметаллическим почворезущим профилем. – Мн.: НЦИС, 2004. – 4 с.
3. Игнатьев А.И. Описание способа приготовления режущих и колющих инструментов из слоев ме-

таллов и сплавов разной твердости. Патент СССР. Класс 49, 1926. № 14451. – 32 с.

4. Рабинович А.Ш. Элементарная теория и методика проектирования самозатачивающихся почворезущих лезвий. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1961, № 10.

5. Рабинович А. Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин. – М.: ГОСНИТИ, 1962.

6. Износ деталей сельскохозяйственных машин. Под ред. д.т.н., проф. М.М. Севернева. – Л.: Колос, 1972.

7. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995.

8. Сидоров С.А. Методика расчета на износостойкость моно- и биметаллических почворезущих рабочих органов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003, № 12. – С. 35...39.

9. Маяускас И. С. Влияние давления почвы на износ рабочих деталей почвообрабатывающих машин // Вестник машиностроения. – 1958. – № 10. – С. 18-32.

10. Резание грунтов. Сб. статей / Под ред. О.А. Спиваковского, А.Н. Зеленина. – М.: Изд-во АН СССР, 1951.

11. Рабинович А.Ш. Методика определения эпюры давления почвы на стабилизированный профиль лезвия. Сб. работ ВИМ, 1959, № 11.

12. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Машиностроение, 1970.

13. Розенбаум А.Н. Исследование износостойкости сталей для режущих органов почвообрабатывающих орудий / В кн.: Исследование материалов деталей сельскохозяйственных машин // Тр. ВИСХОМа, вып. 53. – М., 1969.